

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-049402

(43)Date of publication of application : 18.02.2000

(51)Int.Cl.

H01S 1/02

(21)Application number : 10-211012

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 27.07.1998

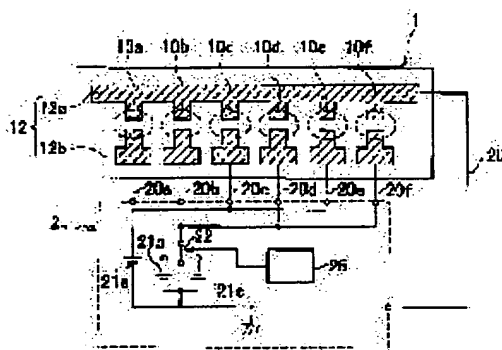
(72)Inventor : TAKAHASHI HIRONORI

## (54) TERAHERTZ WAVE GENERATOR

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily switch a frequency spectrum.

SOLUTION: The terahertz wave generator uses an optical switch element 1 provided with an optical switch array composed of plural optical switches 10a-10f to supply different delay time to optical pulses made incident on the respective optical switches. By the constitution capable of switching the value or polarity of a voltage applied to the optical switches 10a-10f by a voltage controller 2, the terahertz wave generator capable of instantaneously switching the frequency spectrum of terahertz waves to be obtained is realized. Such a terahertz wave generator can be applied to various devices such as a terahertz wave spectroscopy unit capable of efficiently performing measurement for instance.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the terahertz wave generator equipped with the optical switch component which has the optical switch array which serves as the light pulse light source which generates a light pulse from two or more optical switches. A light pulse generating means to correspond to said two or more optical switches, and to make said light pulse divide and transmit, respectively, The terahertz wave generator characterized by having a light pulse delay means to give a specific time delay to said light pulse by which incidence is carried out to said two or more optical switches, respectively, and an armature-voltage control means to control the value of an electrical potential difference and polarity which are impressed to said two or more optical switches, respectively.

[Claim 2] Said optical switch array of said optical switch component is a terahertz wave generator according to claim 1 characterized by being constituted in the shape of [ which consists of two or more trains ] a two dimensional array.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the terahertz wave generator which is the electromagnetic wave of the frequency the circumference of 1THz (terahertz).

[0002]

[Description of the Prior Art] The electromagnetic wave field (a terahertz wave field, for example, an about 100GHz - 10THz frequency domain, is pointed out) of the frequency the circumference of 1THz (terahertz) is a frequency domain located in the boundary of a light wave and an electric wave. Such a frequency domain is comparatively behind in development of the light source, a detector, etc., and there are many uncivilized parts even in a technical side or an application side. Although the terahertz wave generator which is the small and simple light source is indispensable if it says from the point of the application on industry especially, development of such the light source using an optical switch component is being furthered in recent years. By the approach by the oscillator of an electrical circuit, although electromagnetic wave generating of a terahertz wave field is difficult, the light source of electromagnetic wave generating of this field is realizable by modulating a current using pulse-like light (as reference, there is for example, "Laser Society of Japan seminar report RTM-96-7 p.39-44" (1996) "optical [ 26 volume / No. 2 ] p.86-92" (1997)).

[0003] The block diagram of an example of the optical switch component 1 conventionally used for terahertz wave generating at drawing 15 is shown. With this optical switch component 1, the parallel transmission line 12 which consists of the transmission lines 12a and 12b is formed on the substrate 15 of the semi-conductor which carries out a high-speed response and the photoconduction thin films 16, such as the low dental-curing length GaAs, such as GaAs, and the single optical switch 10 which becomes a part for that center section from a very small dipole antenna is formed. There is a very small gap 11 of about several micrometers in the center of an optical switch 10, and a suitable electrical potential difference is impressed to a gap 11 by DC power supply 21. If it carries out incidence between this gap 11, using the laser beam of energy higher than the band gap of a semi-conductor as a light pulse, in a semi-conductor, a free carrier will be generated, a pulse-like current will flow and a terahertz wave will be generated according to the current of the shape of this pulse.

[0004] Moreover, it is a frequency  $f_0$  by arranging the optical switch array which consists of an optical switch of N individual. An incident light pulse to frequency  $Nf_0$  The equipment which generates a terahertz wave is shown in US No. 5401953 official report. The block diagram of such an optical switch component 1 is shown in drawing 16. It is formed on the optical medium 50 which has the specific refractive index which is the wedge mold with which the plane of incidence of a light pulse inclined at the include angle  $\theta$ , two or more optical switches 10 are connected to juxtaposition at intervals of D, and this optical switch component 1 is formed. The optical transfer time over the light pulse which carries out incidence from the light pulse light source 3 about each optical switch 10 by such configuration differs from the current transfer time from an optical switch 10 to an outgoing end 17. Frequency  $f_0$  which carries out incidence since the time delay by the sum of these light transfer time and current transfer time arises for every switch A light pulse to frequency  $Nf_0$  A terahertz wave can be generated. In addition, some methods of generating a different time delay to each optical switch are shown in this US No. 5401953 official report besides the approach of using the optical medium 50 of a wedge mold. Moreover, it is not necessary to be necessarily N individual about the number of an optical switch.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, since the same electrical potential difference as all optical switches was impressed in the case of the above equipment using an optical switch array, the frequency spectrum of the terahertz wave obtained was restricted. When changing the frequency of a terahertz wave etc. especially, the time delay

described above; for example must be changed. In this case, since the optical medium will be changed, or the array of an optical switch 10 will be changed and the configuration of equipment must be changed, frequency spectrum of a terahertz wave cannot be switched easily.

[0006] This invention can generate the terahertz wave which has specific frequency spectrum at high effectiveness, and aims at offering the terahertz wave generator which can switch frequency spectrum easily.

[0007]

[Means for Solving the Problem] In order to attain such an object, the terahertz wave generator according to claim 1 by this invention It is the terahertz wave generator equipped with the optical switch component which has the optical switch array which serves as the light pulse light source which generates a light pulse from two or more optical switches. A light pulse generating means to correspond to two or more optical switches, and to make a light pulse divide and transmit, respectively, It is characterized by having a light pulse delay means to give a specific time delay to the light pulse by which incidence is carried out to two or more optical switches, respectively, and an armature-voltage control means to control the value of an electrical potential difference and polarity which are impressed to two or more optical switches, respectively.

[0008] In the terahertz wave generator using the optical switch component which has an optical switch array by two or more optical switches, the terahertz wave of a specific frequency domain can be efficiently generated by setting the time delay given to the light pulse which carries out incidence as the value which changes to each optical switch with light pulse delay means. In such equipment, it becomes possible to switch the frequency spectrum of the terahertz wave obtained easily by installing an armature-voltage control means by which the value of an electrical potential difference and polarity which are further impressed to an optical switch can be controlled and changed, and switching an electrical potential difference.

[0009] Moreover, the optical switch array of an optical switch component is characterized by being constituted in the shape of [ which a terahertz wave generator according to claim 2 becomes from two or more trains in a terahertz wave generator according to claim 1 ] a two dimensional array.

[0010] In the configuration which serves as an antenna for an optical switch to generate and output a terahertz wave, by considering as the array of the optical switch array of the shape of a two dimensional array which consists of two or more-train two or more trains instead of a 1-dimensional optical switch array, generating / output location of a terahertz wave can prevent 1-dimensional the thing spread-like, and the terahertz wave generator more near the point light source can be realized.

[0011]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the suitable operation gestalt of the terahertz wave generator by this invention is explained to a detail with a drawing. In explanation of a drawing, the same sign is given to the same element, and the overlapping explanation is omitted. Moreover, the rate of a proportion of a drawing is not necessarily in agreement with the thing of explanation.

[0012] The block diagram of 1 operation gestalt of the optical switch component using the optical switch array in 1x6 arrays used for the terahertz wave generator applied to this invention at drawing 1 and an armature-voltage control means is shown. The optical switch component 1 in this operation gestalt consists of six optical switches 10a-10f which consist of very small dipole antennas installed between the parallel transmission line 12 which consists of the transmission lines 12a and 12b, and the transmission lines 12a and 12b. It connects in common to all the optical switches 10a-10f, and transmission-line 12a is connected to the armature-voltage control equipment 2 which is an armature-voltage control means by lead wire 20. On the other hand, transmission-line 12b is divided to each optical switches 10a-10f, and each is connected to armature-voltage control equipment 2 by lead wire 20a-20f. The electrical potential difference impressed to optical switches 10a-10f by armature-voltage control equipment 2 can be respectively set up and controlled by such configuration separately. In addition, the same thing as usual is used about the substrate used for an optical switch component.

[0013] Each optical switches 10a-10f also have the function as an antenna which outputs a terahertz wave, and like the developmental mechanics of a terahertz wave shown in drawing 15 about the single optical switch, if the light pulse from the light pulse light source (not shown) carries out incidence, a pulse-like current will flow, and a terahertz wave is generated and outputted by it from each optical switches 10a-10f.

[0014] The armature-voltage control equipment 2 in this operation gestalt consists of DC power supplies 21a, 21b, and 21c and a switch 22. Ground connection of the transmission-line 12a is carried out. On the other hand, the terminal by the side of transmission-line 12b of optical switches 10a, 10c, and 10e is connected to the same DC-power-supply 21a, and the same electrical potential difference is supplied. Moreover, by connecting with either of DC power supplies 21b and 21c which are connected to the switch 22, and are connected so that an electrical-potential-difference polarity may

be opposing, and switching the connection of the terminal by the side of optical switch 10b 10d, and 10f] transmission-line 12b is set up so that the polarity of the electrical potential difference supplied can be switched. In addition, a switch 22 is good also as a configuration controlled by the switch control circuit 25.

[0015] The block diagram of 1 operation gestalt of the optical switch component using the optical switch array in 2x3 arrays used for the terahertz wave generator applied to this invention at drawing 2 and an armature-voltage control means is shown. The optical switch component 1 in this operation gestalt consists of the parallel transmission line 12 which consists of the transmission lines 12a, 12b, and 12c, and six optical switches 10a-10f which consist of very small dipole antennas. Optical switches 10a, 10b, and 10c are installed among the transmission lines 12a and 12b, and, as for optical switches 10a-10f, optical switches 10d, 10e, and 10f are installed among the transmission lines 12b and 12c. Moreover, in this operation gestalt, each transmission lines 12a, 12b, and 12c are not divided, but are respectively connected to armature-voltage control equipment 2 by lead wire 20a, 20b, and 20c.

[0016] Although a light source location spreads in one dimension by using the optical switch array by two or more optical switches when an optical switch considers as the configuration which serves as the antenna which outputs a terahertz wave, by considering as the optical switch array of the shape of a two dimensional array as showed the array of an optical switch to drawing 2 instead of a 1-dimensional optical switch array, the range of generating / output location of a terahertz wave can be narrowed, and the terahertz wave generator more near the point light source can be realized.

[0017] The armature-voltage control equipment 2 in this operation gestalt consists of DC power supplies 21a, 21b, and 21c and a switch 22. Ground connection of the transmission-line 12b is carried out. On the other hand, transmission-line 12a to which optical switches 10a, 10b, and 10c are connected is connected to DC-power-supply 21a. Moreover, by connecting with either of DC power supplies 21b and 21c which are connected to the switch 22, and are connected so that an electrical-potential-difference polarity may be opposing, and switching the connection, transmission-line 12c to which optical switches 10d, 10e, and 10f are connected is set up so that the polarity of the electrical potential difference supplied can be switched. In addition, a switch 22 is good also as a configuration controlled by the switch control circuit 25.

[0018] In addition, it is possible to consider as various configurations corresponding to a frequency, the required time amount number of partitions, etc. of a light pulse which can be set for the optical switch component shown in drawing 1 and drawing 2 and by which are not restricted to such a thing and incidence is carried out about the configuration of an optical switch array which consists of two or more optical switches. Moreover, not only the thing using the switch shown in drawing 1 and drawing 2 but the thing of various gestalten is possible also about the armature-voltage control equipment to the optical switch component shown in drawing 1 and drawing 2. Other operation gestalten of the armature-voltage control equipment 2 applied to the optical switch component 1 by the optical switch array of the 1x6 same arrays as what was shown in drawing 3 at drawing 1 were shown. With this operation gestalt, each part of transmission-line 12b corresponding to optical switches 10a-10f is connected to DC power supplies 21a-21f which are adjustable electrical-potential-difference power sources respectively. Modification of the value of an electrical potential difference and a polarity is possible for DC power supplies 21a-21f, and the value of each electrical potential difference and polar setting out are controlled by the switch control circuit 25. By this, it can respond to the object, and each electrical-potential-difference values  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$ ,  $V_d$ ,  $V_e$ , and  $V_f$  including the polarity over optical switches 10a-10f can be set up or changed into separate and arbitration.

[0019] Two adjustable electrical-potential-difference DC power supplies and the switch of a polar switch may constitute these DC power supplies 21a-21f. Moreover, if a polar switch is performed using equipment like a function oscillator, a switch at kHz-MHz extent or the high speed beyond it is possible for a switch of a switch. It is important in various application of a terahertz wave generator for a switch at such a high speed to be possible. Moreover, the switch control circuit 25 is good also as a configuration which receives further control by the computer which controls the external whole equipment, for example, system of measurement.

[0020] The terahertz wave generator by this invention has the optical switch component and the armature-voltage control means of having a configuration which was described above, the light pulse light source, a light pulse generating means, and a light pulse delay means, and is constituted. In such a configuration, incidence of the light pulse to each optical switch of an optical switch component is carried out by the light pulse delay means for giving a specific time delay to the light pulse by which incidence is carried out to division, the light pulse generating means to transmit, and each optical switch in the light pulse from the light pulse light source corresponding to each optical switch. The case where what showed 1 operation gestalt of the terahertz wave generator which equipped drawing 4 with those means to drawing 1 or drawing 3 as an optical switch component 1 is used is shown. In this operation gestalt, the light pulse generating means 4 consists of a lens system 41, optical fibers 42a-42f which have the same die length (optical path length) respectively, and collimate lenses 43a-43f. The light pulse by which outgoing radiation was carried out from the

light pulse light source 3 is used as optical fibers 42a-42f by the lens system 41 division and incidence. It converges with collimate lenses 43a-43f respectively, and incidence of the light pulse transmitted with optical fibers 42a-42f is carried out to the light pulse delay means 5.

[0021] The light pulse delay means 5 consists of optical media 50a-50f. These optical media 50a-50f are installed respectively corresponding to the optical switches 10a-10f of the optical switch component 1. Optical media [ 50a-50f ] die length is set up separately, and the die length is  $l_a$ - $l_f$  respectively. Thus, a respectively different time delay to the light pulse by which incidence is carried out to each optical switch can be given by using the optical medium which has the specific refractive index of mutually different die length to each optical switch. Such die length is set up by the suitable criteria length  $l$  like  $l_a=1$ ,  $l_b=2l$ ,  $l_c=3l$ ,  $l_d=4l$ ,  $l_e=5l$ , and  $l_f=6l$ , in order to generate a terahertz wave, for example on a fixed frequency. In the optical path difference of the optical switch which sets to  $c$  and adjoins each other, at this time,  $l(n-1)$  and a time delay difference serve as [ rate / of  $n$  and light ]  $l/c(n-1)$  in an optical media [ 50a-50f ] refractive index. In addition, about setting out of this die length, it is possible to consider as various configurations by the terahertz wave which all the time delay differences over the above adjacent optical switches are not restricted to an equal, and make the object. Moreover, as long as there is need, the lens system for convergence of a light pulse or condensing etc. may be installed between the optical media 50a-50f and optical switches 10a-10f.

[0022] Various equipment and means can be applied about the light pulse generating means 4 and the light pulse delay means 5, without restricting to what was shown in drawing 4 . For example, about a light pulse delay means, a separate optical medium may not be installed in each, but the optical medium processed into one in the shape of Echelon and the optical medium processed into the wedge mold from which the optical path length changes continuously may be used. Moreover, it is also possible to consider as the configuration which gives the time delay which changes with counts of an echo using the Fabry-Perot etalon etc. About the Fabry-Perot etalon, as long as there is need, it may install and two glass may be used so that in parallel. In addition, in any case, the lens system for convergence of a light pulse or condensing etc. may be installed to the light pulse which was able to give the specific time delay respectively.

[0023] Moreover, after expanding the cross-sectional area of an incident light pulse according to amplification optical system also about a light pulse generating means not using an optical fiber, it is good also as a configuration which carries out incidence to a direct light pulse delay means, without dividing and converging and minding an optical fiber etc. to each optical switch according to the division optical system by the lens or the mirror. Moreover, when the optical medium of a wedge mold is used as a light pulse delay means, for example, after expanding to sufficient size, without dividing a light pulse, incidence may be carried out to an optical medium, and an optical switch array may be irradiated as a light pulse which has specific time delay difference distribution. Moreover, it is also possible to consider as the configuration whose light pulse delay means serves also as a light pulse generating means.

[0024] Below, the frequency spectrum of the terahertz wave by the terahertz wave generator by this invention to generate and its switch are explained. In addition, the time amount wave of a terahertz wave and frequency spectrum which are shown below are as a result of [ by simulation ] count. The pulse width of the light pulse which carries out incidence assumes the time amount width of face of 50fs extent narrow enough. Moreover, spacing of the calculating point of a time amount wave of a terahertz wave was set to about 49 fs(es), and the repeat period of incidence pulsed light was set to 50ps(es) (20GHz). However, the calculating point in a time amount wave is illustrating only the required point.

[0025] It is the frequency spectrum obtained by drawing 5's showing the terahertz wave obtained when incidence of the light pulse is carried out to the conventional terahertz wave generator by the single optical switch shown in drawing 15 , (a's) carrying out the time amount wave, and (b) carrying out the fast Fourier transform (FFT) of the time amount wave. In the time amount wave of a terahertz wave shown in drawing 5 (a) obtained at this time, the half-value width of the generated terahertz wave is about 98 fs(es). The frequency spectrum shown in drawing 5 (b) by such time amount wave has the large spectrum distribution centering on about 1.5THz.

[0026] In the optical switch component 1 using the optical switch array in 1x6 arrays which showed the 1st example about the terahertz wave generator by this invention, and were shown in drawing 1 , drawing 6 impresses the same polar electrical potential difference to two optical switches of optical switches 10a and 10b, and when the time delay difference between two optical switches is set as about 781 fs(es) and incidence of the light pulse is carried out, it shows the terahertz wave obtained. In the time amount wave shown in drawing 6 (a), two terahertz wave pulses have occurred at intervals of about 781 fs(es). Reinforcement has the greatest large peak near about 1.3THz, and, as for the frequency spectrum shown in drawing 6 (b) by such time amount wave, the large reinforcement also in the almost double frequency domain is obtained.

[0027] Although drawing 7 shows the 2nd example about the terahertz wave generator by this invention and is the almost same conditions as drawing 6 , when reversed to the polarity of the electrical potential difference to which the

polarity of the electrical potential difference impressed to optical switch 10b is impressed by optical switch 10a, the terahertz wave obtained is shown. At this time, the 2nd terahertz wave pulse is reversed with the polarity reversals of applied voltage by the time amount wave shown in drawing 7 (a). With drawing 6 (b), reinforcement is 0 near about 1.3THz and on its almost double frequency reversely, and reinforcement has the greatest large peak near [ the / middle ] about 1.9THz, and, as for the frequency spectrum shown in drawing 7 (b) by such time amount wave, near about 0.7THz has become the peak of large reinforcement. That is, to the frequency spectrum shown in drawing 6 (b), spacing of a peak is mostly shifted by the location of a peak 1/2, and intensity distribution are reversed. Thus, the frequency spectrum of the terahertz wave obtained can be switched by having reversed the polarity of the electrical potential difference given to optical switch 10b.

[0028] In the optical switch component 1 using the optical switch array in 1x6 arrays which showed the 3rd example about the terahertz wave generator by this invention, and were shown in drawing 1, drawing 8 impresses the same polar electrical potential difference to six optical switches [ 10a-10f ] optical switches, and when the time delay difference between adjacent optical switches is respectively set as about 781 fs(es) and incidence of the light pulse is carried out, it shows the terahertz wave obtained. At this time, the width of face of each peak in the frequency spectrum which may be shown in drawing 8 (b) is small, and the peak especially with large reinforcement is acquired in about 1.3THz, about 2.5THz, and a still higher frequency domain.

[0029] Although drawing 9 shows the 4th example about the terahertz wave generator by this invention and is the almost same conditions as drawing 8, when reversed to the polarity of the electrical potential difference to which the polarity of the electrical potential difference impressed to optical switches 10b, 10d, and 10f is impressed by optical switches 10a, 10c, and 10e, the terahertz wave obtained is shown. Like what was shown in drawing 8 (b) also in this case, the width of face of a peak is small and the peak especially with large reinforcement is acquired in about 0.7THz, about 1.9THz, and a still higher frequency domain.

[0030] The frequency spectrum of a terahertz wave can be changed still more variously by changing the conditions of terahertz wave generating. In the optical switch component 1 using the optical switch array in 1x6 arrays which drawing 10 showed the 5th example about the terahertz wave generator by this invention, depend it on the almost same conditions as drawing 6, and were shown in drawing 1. Although the same polar electrical potential difference is impressed to two optical switches of optical switches 10a and 10b, when the time delay difference between two optical switches is set as about 3124 4 times as many fs(es) as this from about 781 fs(es) in drawing 6 and incidence of the light pulse is carried out, the terahertz wave obtained is shown. In the time amount wave shown in drawing 10 (a), two terahertz wave pulses have occurred at intervals of about 3124 fs(es). Compared with what showed the frequency spectrum shown in drawing 10 (b) by such time amount wave to drawing 6 (b), the width of face of each peak is narrow mostly one fourth.

[0031] Although drawing 11 shows the 6th example about the terahertz wave generator by this invention and is the almost same conditions as drawing 10, when reversed to the polarity of the electrical potential difference to which the polarity of the electrical potential difference impressed to optical switch 10b is impressed by optical switch 10a, the terahertz wave obtained is shown. That is, to the case of drawing 7, when a time delay difference is changed into 4 times as many 3124fs(es) as this, it corresponds. Compared with what was shown in drawing 10 (b) also in this case, and the thing similarly shown in drawing 7 (b), the width of face of each peak is narrow mostly one fourth. In addition, about reversal of the intensity distribution of the frequency spectrum in drawing 10 and drawing 11, it is the same as that of the case of drawing 6 and drawing 7.

[0032] Moreover, the terahertz wave which has still more various frequency spectrum can be obtained also about the electrical potential difference supplied to each optical switch by changing not only the polarity of an electrical potential difference but an electrical-potential-difference value. As the 7th example about the terahertz wave generator by this invention, drawing 12 shows an example of such a terahertz wave. It applies to the terahertz wave generator which shows the optical switch component 1 shown in drawing 3 here to drawing 4. Respectively the electrical-potential-difference value supplied to optical switches 10a-10f  $V_a=+1V$ , It is set as  $V_b=+2V$ ,  $V_c=+1V$ ,  $V_d=-1V$ ,  $V_e=-2V$ , and  $V_f=-1V$ . Optical media [ which give a time delay to the light pulse by which incidence is carried out to optical switches 10a-10f / 50a-50f ] die length was respectively set as  $l_a=1$ ,  $l_b=2l$ ,  $l_c=3l$ ,  $l_d=5l$ ,  $l_e=6l$ , and  $l_f=7l$ . In addition, at this time, the criteria length  $l$  is set up so that the time delay difference of the light pulse which carries out incidence of the optical media [ 50a-50f ] die length to the adjacent optical switches 10a and 10b may be set to about 781 fs(es). Thus, it is possible to generate the terahertz wave of various frequency spectrum according to the object by changing the value of the electrical potential difference set as each optical switch, a polarity, and the time delay given to the light pulse which carries out incidence.

[0033] According to the terahertz wave generator by this invention, the terahertz wave which has completely different



frequency spectrum which intensity distribution reversed can be generated by switching the polarity of the electrical potential difference supplied to each optical switch etc. This switch can be dramatically carried out to a high speed with the switch to be used, as mentioned above. A different terahertz wave spectroscopy from the former is realizable by considering as the application of the terahertz wave generator by this invention, for example, using the property about such a frequency spectrum switch.

[0034] The configuration of 1 operation gestalt of the terahertz wave spectroscopy using the terahertz wave generator by this invention is shown in drawing 13. In addition, about the fundamental configuration of a spectroscopy, it is the same as that of what is shown in "optical [ 26 volume / No. 2 ] p.86-92" (1997) almost.

[0035] It is reflected by the reflective mirror 31 and incidence of the light pulse by which outgoing radiation was carried out from pulse laser 3a which is the light pulse light source is carried out to the light pulse generating means 4. A specific time delay is given to the light pulse which incidence is carried out to the light pulse delay means 5, and carries out incidence to each optical switch, incidence of the light pulse divided and transmitted with the light pulse generating means 4 is carried out to the optical switch component 1 which has the optical switch array which consists of two or more optical switches, and a terahertz wave is generated. The value of an electrical potential difference and polarity which are impressed to each optical switch of the optical switch component 1 are controlled by armature-voltage control equipment 2.

[0036] Incidence and passage of the generated terahertz wave are done at the sample cell 61 into which sample 61a went by the outgoing radiation lens 64 and the off-axis-paraboloid mirror 65, and optical switch component 6a for reception completes and irradiates with the off-axis-paraboloid mirror 66 and the receiving lens 67. In addition, an outgoing radiation system and a receiving system are installed in the interior of envelopes 62 and 63, and in order to remove absorption by the steam in the air under propagation of a terahertz wave, the interior of envelopes 62 and 63 is made into a vacuum, or is filled with desiccation nitrogen. Moreover, after an incident light pulse branches with a half mirror 33 and has timing adjusted by the timing adjustment mirror 34 and the movable timing adjustment mirror 35, incidence of it is carried out to optical switch component 6a for reception as a detection light for measurement through the reflective mirror 32. In addition, in order to know only absorption by sample 61a by measurement, measurement only by the cell when emptying the sample cell 61 is performed in advance, and it opts for absorption by sample 61a from the difference of the data and the data when putting in sample 61a.

[0037] Here, the case where the terahertz wave shown in drawing 8 or drawing 9 is generated is described using what was shown in drawing 1 as an example as the optical switch component 1 and armature-voltage control equipment 2 by setting the time delay difference between adjacent optical switches to 781fs(es). When the terahertz wave which has a peak in 1.3THz shown in drawing 8 and 2.5THz when the polarity of the electrical potential difference impressed to optical switches 10b, 10d, and 10f is made the same as the polarity of the electrical potential difference by which optical switches 10a, 10c, and 10e are impressed at this time reverses a polarity again, outgoing radiation of the terahertz wave which has a peak in 0.7THz shown in drawing 9 and 1.9THz is carried out from the optical switch component 1.

[0038] As a current, reading appearance of the terahertz wave received by optical switch component 6a for reception is carried out, and it is inputted into a processor 73 by the ammeter 71 through the lock-in amplifier 72. A processor 73 performs required processing of displaying and recording the inputted data. Although a polar switch of the electrical potential difference given to an optical switch is performed by armature-voltage control equipment 2, the reference sign about this switch is also given to the lock-in amplifier 72 as shown in drawing 13. By this, the lock-in amplifier 72 detects synchronizing with a reference sign.

[0039] Considering the case where it is the matter in which remarkable absorption is shown to the terahertz wave whose sample 61a is 1.3THz at this time, such sample 61a shows a completely different absorption property, when a polarity is switched. That is, when a polarity is reversed, it is made to penetrate to attenuating a 1.3THz terahertz wave greatly, when a polarity is made the same, without attenuating a terahertz wave (0.7THz and 1.9THz) not much. Thus, it becomes possible to perform measurement about a more positive sample for a short time by carrying out continuously only by switching an electrical potential difference, without changing equipment for the measurement about the frequency band in which a completely different absorption property is shown, and investigating the response to them. Such spectrometry will not become possible without the terahertz wave generator by this invention.

[0040] The configuration of other operation gestalten of the terahertz wave spectroscopy using the terahertz wave generator by this invention is shown in drawing 14. In this operation gestalt, it is characterized by using bolometer 6b for reception of a terahertz wave. Bolometer 6b is the light-intensity detector of a thermal type, and detects the terahertz wave which received as a temperature rise of bolometer 6b. In this case, the information about the frequency of a terahertz wave etc. cannot be acquired, but only the received terahertz wave reinforcement is obtained. Although the time response of bolometer 6b is late compared with an optical switch, it can measure efficiently the output difference



of bolometer 6b in the electrical-potential difference polarity switch order by performing a polar switch of the electrical potential difference by armature-voltage control equipment 2 according to the response time, and giving the reference sign from armature-voltage control equipment 2 to the lock-in amplifier 72.

[0041] In addition, in the terahertz wave spectroscopy shown in drawing 13 and drawing 14, it is good also as a configuration which is not restricted to such a configuration and is different according to equipment configurations, such as the installation approach of the sample cell 61, about the configuration of the optical system which consists of the outgoing radiation lens 64, off-axis-paraboloid mirrors 65 and 66, and a receiving lens 67.

[0042] Application of the terahertz wave generator by this invention can be applied to various equipments, without restricting to the terahertz wave spectroscopy shown in drawing 13 and drawing 14. Moreover, also about the measuring method of a terahertz wave, it is not restricted to an optical switch component and a bolometer, but various measuring methods and equipment can be used according to the object. For example, it is possible to use the EO sampling method for using the electro-optical effect (the EO effectiveness, Electro Optic effect) which changes when the refractive index of electro-optics crystals, such as a ZnTe crystal, irradiates a terahertz wave. For example, the beam profile of the terahertz wave by which the terahertz wave read to the electro-optics crystal by which incidence is carried out, and was modulated by change of the refractive index of an electro-optics crystal in light incidence and by making it penetrate and measuring the output image with a CCD camera etc. and which read and passed the electro-optics crystal by light can be obtained.

[0043]

[Effect of the Invention] The terahertz wave by this invention acquires the following effectiveness, as explained to the detail above. That is, the terahertz wave generator which can switch easily the frequency spectrum of the terahertz wave obtained when a light pulse is irradiated is realizable by having the armature-voltage control means which can switch the value of an electrical potential difference and polarity which are impressed to two or more optical switches formed in the optical switch component. Moreover, by arranging an optical switch array to the two dimensional array which consists of two or more trains instead of one dimension, generating / output location of a terahertz wave can be narrowed, and it can consider as the terahertz wave generator more near the point light source.

[0044] Such a terahertz wave generator that has the property which was excellent about especially the switch of frequency spectrum can be applied to various equipments using a terahertz wave, such as a terahertz wave spectroscopy which can analyze a sample certainly and efficiently, for example, etc.

---

[Translation done.]

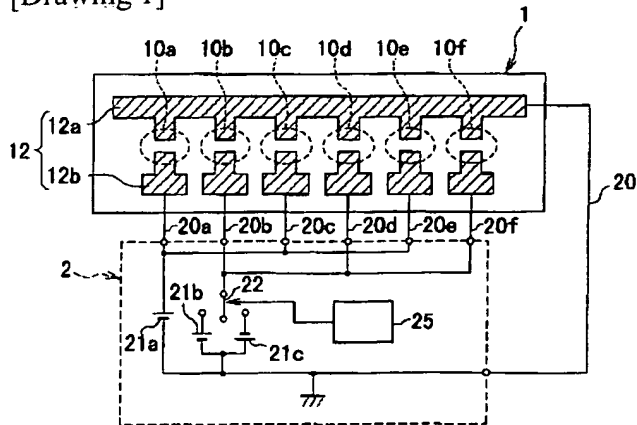
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

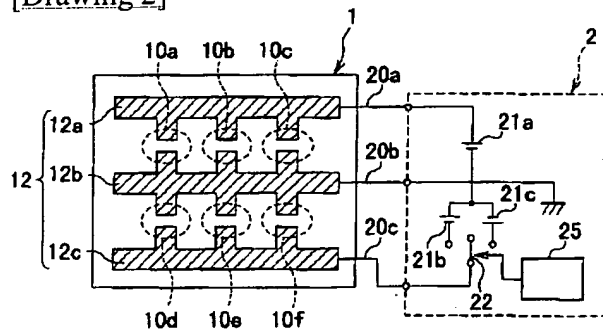
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

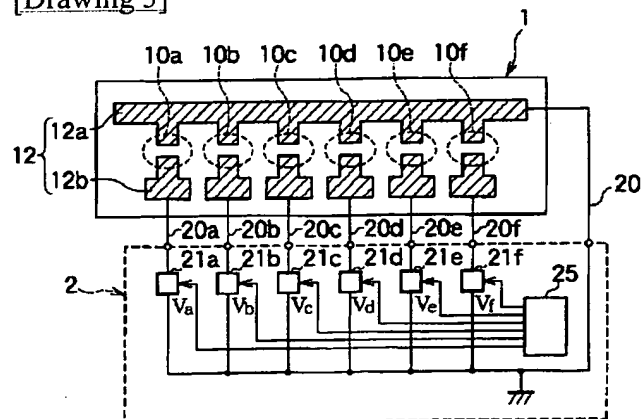
[Drawing 1]



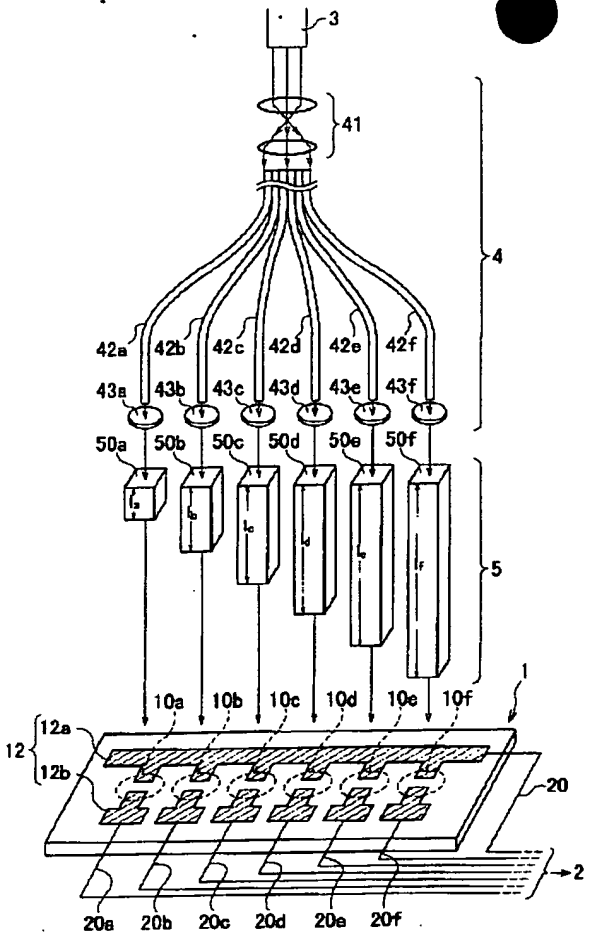
[Drawing 2]



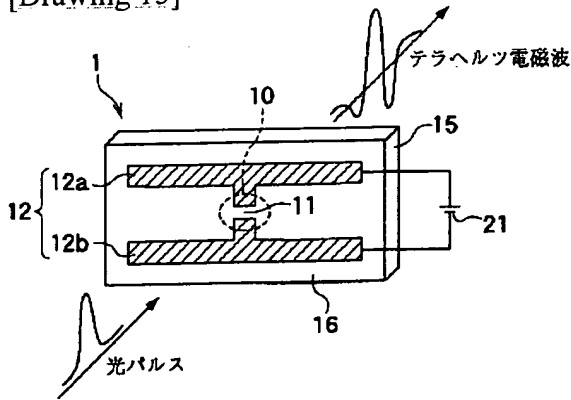
[Drawing 3]



[Drawing 4]

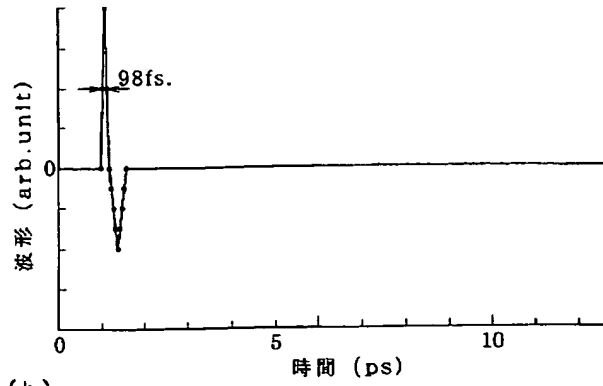


[Drawing 15]

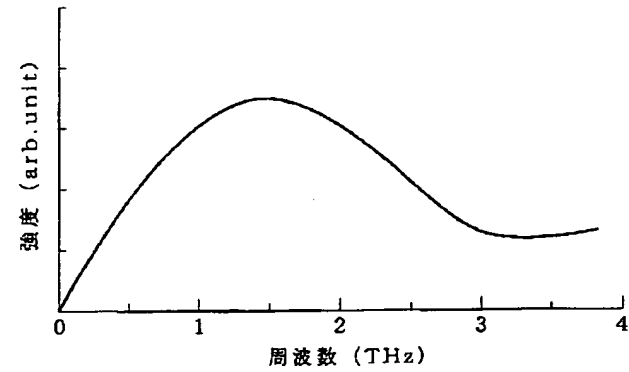


[Drawing 5]

(a)

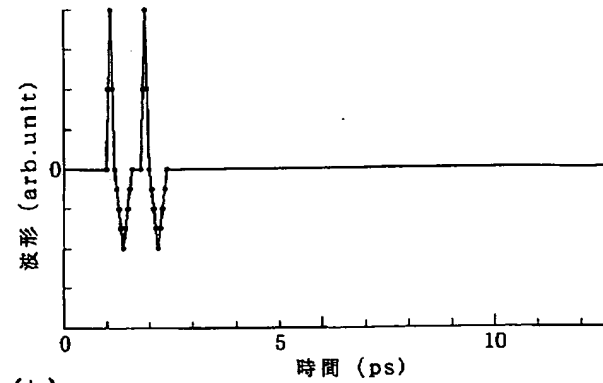


(b)

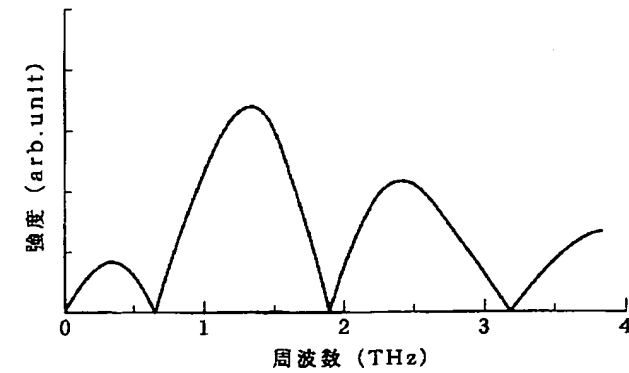


[Drawing 6]

(a)

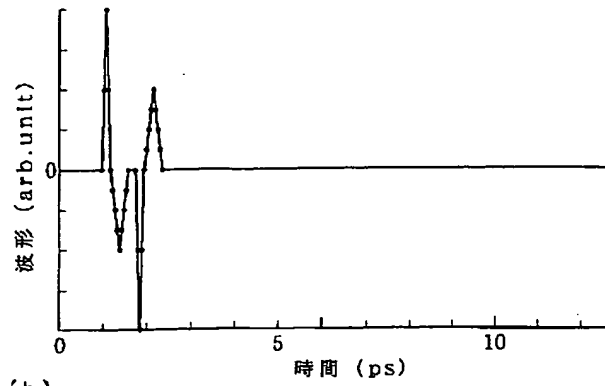


(b)

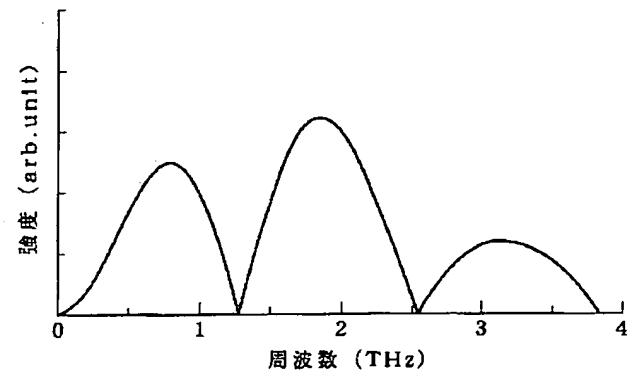


[Drawing 7]

(a)

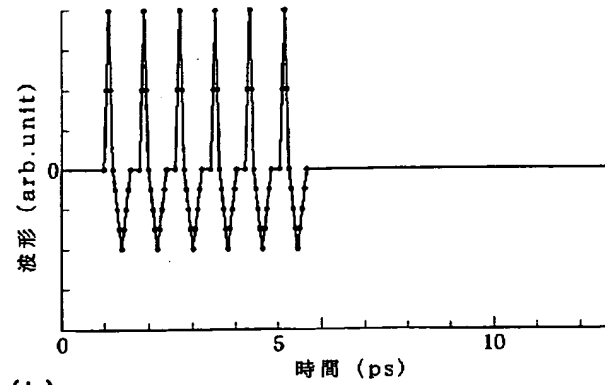


(b)

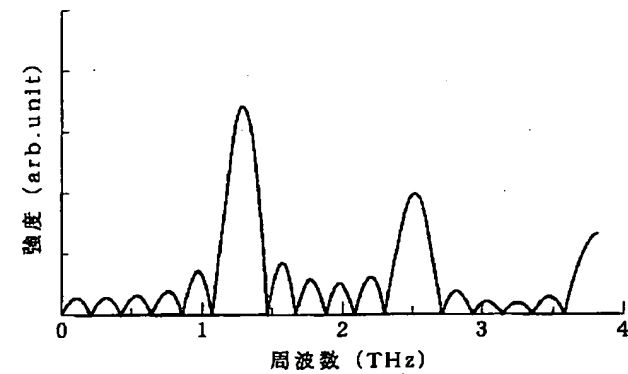


[Drawing 8]

(a)

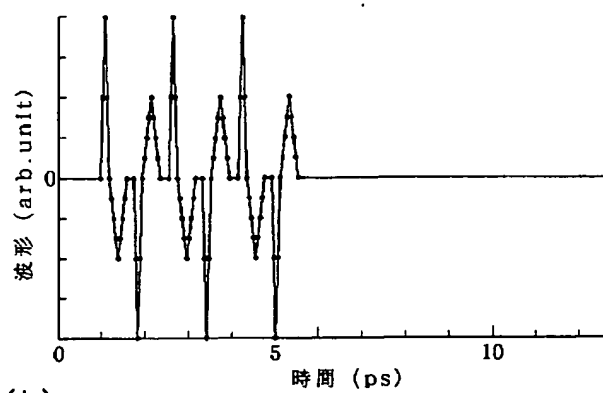


(b)

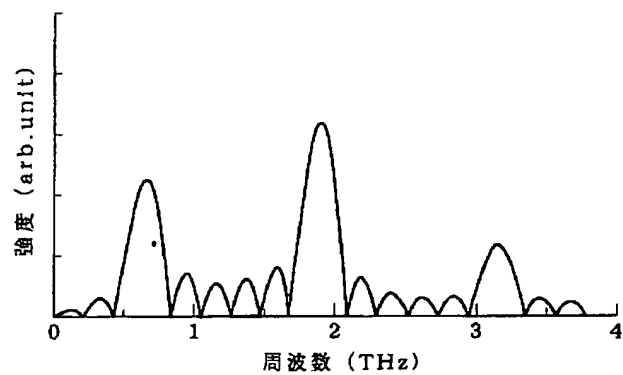


[Drawing 9]

(a)

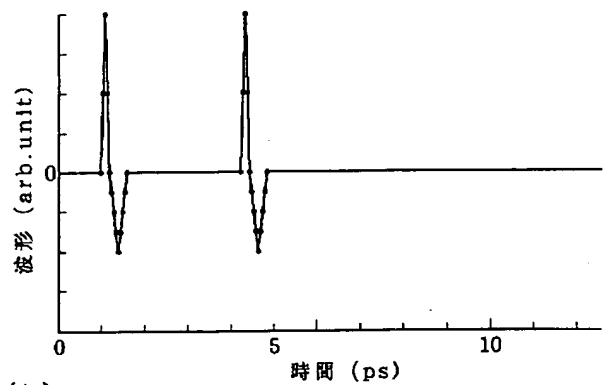


(b)

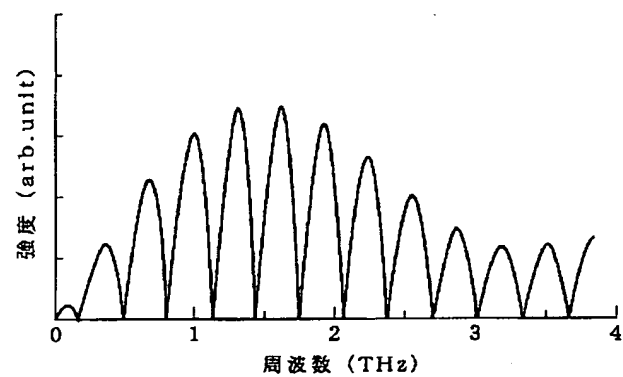


[Drawing 10]

(a)

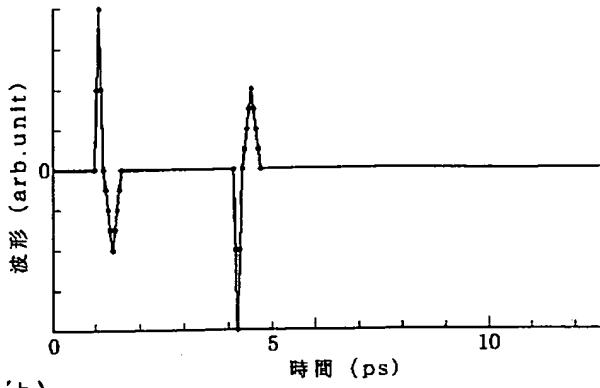


(b)

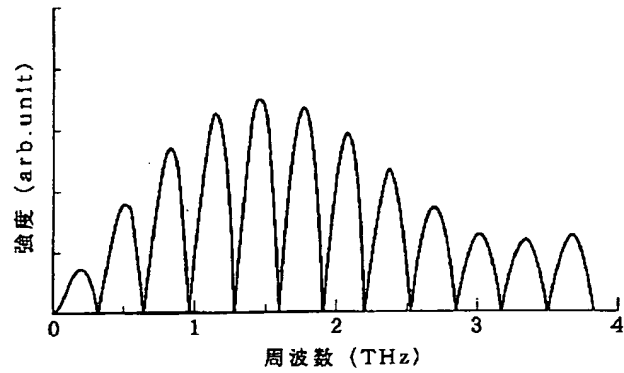


[Drawing 11]

(a)

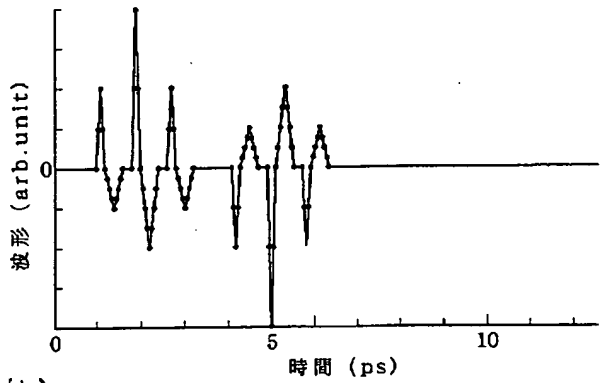


(b)

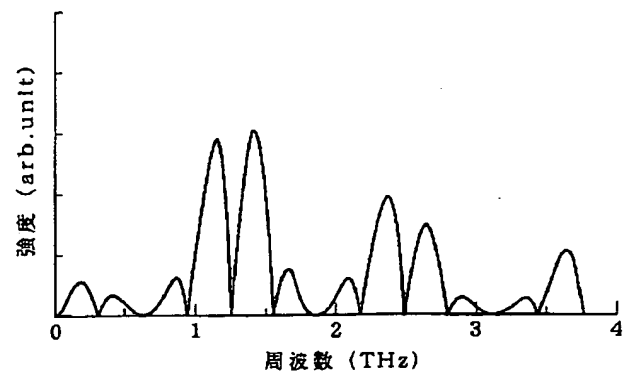


[Drawing 12]

(a)

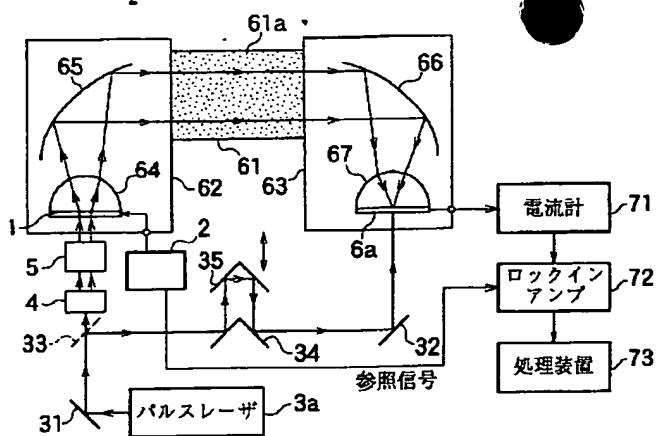


(b)

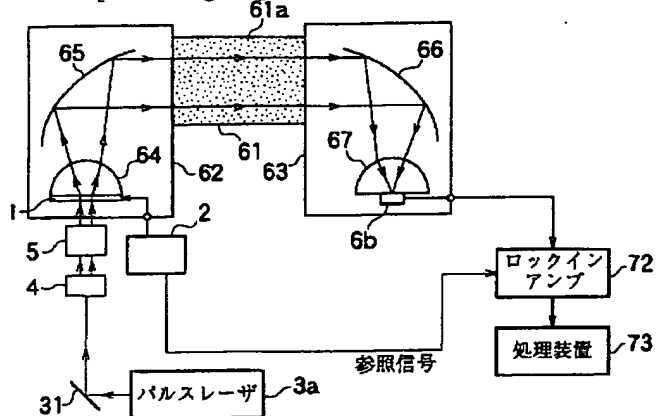


[Drawing 13]

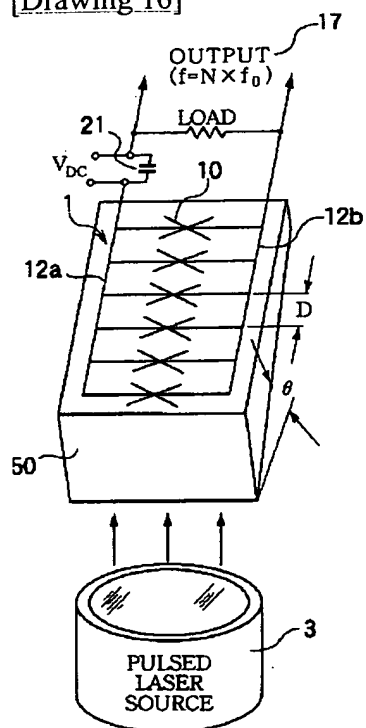




<BR> [Drawing 14]



[Drawing 16]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-49402

(P2000-49402A)

(43) 公開日 平成12年2月18日 (2000.2.18)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H01S 1/02

識別記号

F I

H01S 1/02

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-211012

(22) 出願日 平成10年7月27日 (1998.7.27)

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 高橋 宏典

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ

トニクス株式会社内

(74) 代理人 100088155

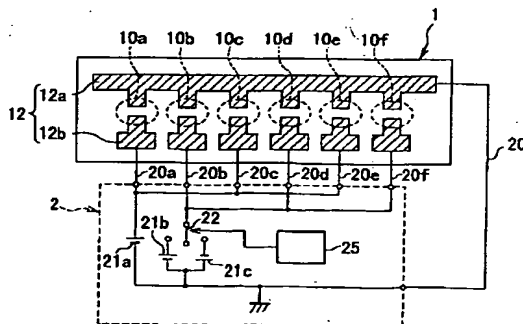
弁理士 長谷川 芳樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 テラヘルツ波発生装置

(57) 【要約】

【課題】 周波数スペクトルの切り換えを容易に行うことができるテラヘルツ波発生装置を提供する。

【解決手段】 複数の光スイッチ10a~10fからなる光スイッチアレイを有する光スイッチ素子1を用い、各光スイッチに入射される光パルスに異なる遅延時間を与えるテラヘルツ波発生装置において、光スイッチ10a~10fに印加される電圧の値または極性を、電圧制御装置2によって切り換えることができる構成とすることにより、得られるテラヘルツ波の周波数スペクトルを瞬時に切り換えることができるテラヘルツ波発生装置が実現できる。このようなテラヘルツ波発生装置は、例えばより効率的に測定を行うことができるテラヘルツ波分光器など、様々な装置に応用することが可能である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光パルスが発生させる光パルス光源と、複数の光スイッチからなる光スイッチアレイを有する光スイッチ素子を備えたテラヘルツ波発生装置であって、前記複数の光スイッチに対応して前記光パルスをそれぞれ分割・伝達させる光パルス発生手段と、前記複数の光スイッチに入射される前記光パルスにそれぞれ特定の遅延時間を与える光パルス遅延手段と、前記複数の光スイッチにそれぞれ印加される電圧の値及び極性を制御する電圧制御手段とを有することを特徴とするテラヘルツ波発生装置。

【請求項2】 前記光スイッチ素子の前記光スイッチアレイは、複数列からなる2次元アレイ状に構成されていることを特徴とする請求項1記載のテラヘルツ波発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、周波数1THz（テラヘルツ）周辺の電磁波であるテラヘルツ波発生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 周波数1THz（テラヘルツ）周辺の電磁波領域（テラヘルツ波領域、例えばおよそ100GHz～10THzの周波数領域を指す）は、光波と電波の境界に位置する周波数領域である。このような周波数領域は光源や検出器などの開発が比較的遅れており、技術面でも応用面でも未開拓の部分が多い。特に、産業上の応用という点から言えば、小型かつ簡便な光源であるテラヘルツ波発生装置が不可欠であるが、近年、光スイッチ素子を用いたそのような光源の開発が進められつつある。電気回路の発振器による方法ではテラヘルツ波領域の電磁波発生は難しいが、パルス状の光を用いて電流を変調することによって、この領域の電磁波発生の光源を実現することができる（文献として、例えば「レーザー学会研究会報告R TM-96-7 p.39-44 (1996)」、「光学26巻2号 p.86-92 (1997)」がある）。

【0003】 図15に、テラヘルツ波発生に従来用いられている光スイッチ素子1の一例の構成図を示す。この光スイッチ素子1では、GaAsなど高速応答する半導体の基板15と低温成長GaAsなどの光伝導薄膜16上に伝送線路12a及び12bからなる平行伝送線路12が形成され、その中央部分に微小ダイポールアンテナからなる単一の光スイッチ10が設けられている。光スイッチ10の中央には、例えば数 $\mu\text{m}$ 程度の微小なギャップ11があり、ギャップ11には直流電源21によって適当な電圧が印加される。このギャップ11間に半導体のバンドギャップよりも高いエネルギーのレーザ光を光パルスとして入射すると、半導体中に自由キャリアが生成されてパルス状の電流が流れ、このパルス状の電流によってテラヘルツ波が発生される。

【0004】 また、N個の光スイッチからなる光スイッチアレイを配置することによって、周波数 $f$ の入射光パルスから周波数 $Nf$ のテラヘルツ波を発生する装置がUS5401953号公報に示されている。図16にそのような光スイッチ素子1の構成図を示す。この光スイッチ素子1は、光パルスの入射面が角度 $\theta$ で傾斜したくさび型である、特定の屈折率を有する光学媒体50の上に形成され、複数の光スイッチ10が間隔Dで並列に接続されて設けられている。このような構成により各光スイッチ10について、光パルス光源3から入射する光パルスに対する光伝達時間、及び光スイッチ10から出力端17までの電流伝達時間が異なるものとなる。これら光伝達時間と電流伝達時間の和による遅延時間が各スイッチ毎に生じるので、入射する周波数 $f$ の光パルスから、周波数 $Nf$ のテラヘルツ波を発生させることができる。なお、このUS5401953号公報には、くさび型の光学媒体50を用いる方法の他にも、各光スイッチに対して異なる遅延時間を発生するいくつかの方法が示されている。また、光スイッチの個数については、必ずしもN個である必要はない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、光スイッチアレイを用いた上記の装置の場合、すべての光スイッチに同じ電圧が印加されるので、得られるテラヘルツ波の周波数スペクトルは限られたものとなる。特に、テラヘルツ波の周波数等を変更する場合には、例えば上記した遅延時間を変えなくてはならない。この場合、光学媒体50を変更するか、もしくは光スイッチ10の配列を変更することになり、装置の構成を変えなくてはならないので、テラヘルツ波の周波数スペクトルの切り換えを容易には行うことができない。

【0006】 本発明は、特定の周波数スペクトルを有するテラヘルツ波を高い効率で発生することができ、かつ容易に周波数スペクトルの切り換えを行うことができるテラヘルツ波発生装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 このような目的を達成するために、本発明による請求項1に記載のテラヘルツ波発生装置は、光パルスが発生させる光パルス光源と、複数の光スイッチからなる光スイッチアレイを有する光スイッチ素子を備えたテラヘルツ波発生装置であって、複数の光スイッチに対応して光パルスをそれぞれ分割・伝達させる光パルス発生手段と、複数の光スイッチに入射される光パルスにそれぞれ特定の遅延時間を与える光パルス遅延手段と、複数の光スイッチにそれぞれ印加される電圧の値及び極性を制御する電圧制御手段とを有することを特徴とする。

【0008】 複数の光スイッチによる光スイッチアレイを有する光スイッチ素子を用いたテラヘルツ波発生装置において、入射する光パルスに与えられる遅延時間を光

パルス遅延手段によって各光スイッチに対して異なる値に設定することによって、特定の周波数領域のテラヘルツ波を効率良く発生させることができる。このような装置において、さらに光スイッチに印加する電圧の値及び極性を制御・変更できるような電圧制御手段を設置して、電圧の切り換えを行うことによって、得られるテラヘルツ波の周波数スペクトルを容易に切り換えることが可能になる。

【0009】また、請求項2に記載のテラヘルツ波発生装置は、請求項1記載のテラヘルツ波発生装置において、光スイッチ素子の光スイッチアレイは、複数列からなる2次元アレイ状に構成されていることを特徴とする。

【0010】光スイッチがテラヘルツ波を発生・出力するためのアンテナを兼ねる構成において、1次元の光スイッチアレイではなく、2列以上の複数列からなる2次元アレイ状の光スイッチアレイの配列とすることによって、テラヘルツ波の発生・出力位置が1次元的に広がることを防いで、より点光源に近いテラヘルツ波発生装置を実現することができる。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、図面と共に本発明によるテラヘルツ波発生装置の好適な実施形態について詳細に説明する。図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0012】図1に、本発明に係るテラヘルツ波発生装置に用いられる、1×6アレイでの光スイッチアレイを用いた光スイッチ素子及び電圧制御手段の一実施形態の構成図を示す。この実施形態における光スイッチ素子1は、伝送線路12a及び12bからなる平行伝送線路12と、伝送線路12a及び12bの間に設置された微少ダイポールアンテナからなる6つの光スイッチ10a～10fとから構成されている。伝送線路12aはすべての光スイッチ10a～10fに対して共通に接続されており、リード線20によって電圧制御手段である電圧制御装置2に接続されている。一方、伝送線路12bは各々の光スイッチ10a～10fに対して分割されており、各々がリード線20a～20fによって電圧制御装置2に接続されている。このような構成によって、電圧制御装置2により光スイッチ10a～10fに印加される電圧を各々別個に設定・制御することができる。なお、光スイッチ素子に用いられる基板等については従来と同様のものを用いている。

【0013】各光スイッチ10a～10fは、テラヘルツ波を出力するアンテナとしての機能も有しており、図15に単一の光スイッチに関して示したテラヘルツ波の発生機構と同様に、光パルス光源（図示していない）からの光パルスが入射するとパルス状の電流が流れて、それによって各光スイッチ10a～10fからテラヘルツ

波が発生・出力される。

【0014】本実施形態における電圧制御装置2は、直流電源21a、21b及び21cと、スイッチ22とから構成されている。伝送線路12aはアース接続されている。一方、光スイッチ10a、10c及び10eの伝送線路12b側の端子は、同一の直流電源21aに接続されており、同一の電圧が供給されている。また、光スイッチ10b、10d及び10fの伝送線路12b側の端子は、スイッチ22に接続されており、電圧極性が反対になるように接続されている直流電源21b及び21cのいずれかに接続し、また、その接続を切り換えることによって、供給される電圧の極性を切り換えることができるように設定されている。なお、スイッチ22は、例えば切り換え制御回路25によって制御される構成としても良い。

【0015】図2に、本発明に係るテラヘルツ波発生装置に用いられる、2×3アレイでの光スイッチアレイを用いた光スイッチ素子及び電圧制御手段の一実施形態の構成図を示す。この実施形態における光スイッチ素子1は、伝送線路12a、12b及び12cからなる平行伝送線路12と、微少ダイポールアンテナからなる6つの光スイッチ10a～10fとから構成されている。光スイッチ10a～10fは、光スイッチ10a、10b及び10cが伝送線路12a及び12bの間に、光スイッチ10d、10e及び10fが伝送線路12b及び12cの間に設置されている。また、本実施形態においては各々の伝送線路12a、12b及び12cは分割されており、各々リード線20a、20b及び20cによって電圧制御装置2に接続されている。

【0016】光スイッチがテラヘルツ波を出力するアンテナを兼ねる構成とする場合、複数の光スイッチによる光スイッチアレイを用いることによって光源位置が1次元的に広がるが、光スイッチの配列を1次元の光スイッチアレイではなく、図2に示したような2次元アレイ状の光スイッチアレイとすることによって、テラヘルツ波の発生・出力位置の範囲を狭くして、より点光源に近いテラヘルツ波発生装置を実現することができる。

【0017】本実施形態における電圧制御装置2は、直流電源21a、21b及び21cと、スイッチ22とから構成されている。伝送線路12bはアース接続されている。一方、光スイッチ10a、10b及び10cが接続されている伝送線路12aは、直流電源21aに接続されている。また、光スイッチ10d、10e及び10fが接続されている伝送線路12cは、スイッチ22に接続されており、電圧極性が反対になるように接続されている直流電源21b及び21cのいずれかに接続し、また、その接続を切り換えることによって、供給される電圧の極性を切り換えることができるように設定されている。なお、スイッチ22は、例えば切り換え制御回路25によって制御される構成としても良い。

【0018】なお、図1及び図2に示した光スイッチ素子における、複数の光スイッチからなる光スイッチアレイの構成については、このようなものに限られるものではなく、入射される光パルスの周波数や必要な時間分割数等に対応して、様々な構成とすることが可能である。また、図1及び図2に示した光スイッチ素子に対する電圧制御装置についても、図1及び図2に示したスイッチを用いたものに限らず、様々な形態のものが可能である。図3に、図1に示したものと同様の1×6アレイの光スイッチアレイによる光スイッチ素子1に適用される電圧制御装置2の他の実施形態を示した。本実施形態では、光スイッチ10a～10fに対応する伝送線路12bの各部分は、各々可変電圧電源である直流電源21a～21fに接続されている。直流電源21a～21fは電圧の値及び極性を変更可能なものであって、各々の電圧の値及び極性の設定は切り換え制御回路25によって制御されている。これによって、光スイッチ10a～10fに対する、極性を含めた各々の電圧値 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ 、 $V_d$ 、 $V_e$ 及び $V_f$ を、目的に応じて別個かつ任意に設定または変更することができる。

【0019】これらの直流電源21a～21fは、例えば2つの可変電圧直流電源と、極性切り換えのスイッチによって構成しても良い。また、極性の切り換えをファンクション発振器のような装置を用いて行えば、スイッチの切り換えは例えばkHz～MHz程度、もしくはそれ以上の高速での切り換えが可能である。このような高速での切り換えが可能であることは、テラヘルツ波発生装置の様々な応用において重要である。また、切り換え制御回路25は、外部の装置、例えば測定系全体を制御するコンピュータ、による制御をさらに受ける構成としても良い。

【0020】本発明によるテラヘルツ波発生装置は、上記したような構成を有する光スイッチ素子及び電圧制御手段と、光パルス光源と、光パルス発生手段と、光パルス遅延手段とを有して構成される。このような構成において、光スイッチ素子の各光スイッチに対する光パルスは、光パルス光源からの光パルスを各光スイッチに対応して分割・伝達する光パルス発生手段と、各々の光スイッチに入射される光パルスに対して特定の遅延時間を与えるための光パルス遅延手段とによって、入射される。図4に、それらの手段を備えたテラヘルツ波発生装置の一実施形態を、光スイッチ素子1として図1または図3に示したものをを用いた場合について示す。本実施形態においては、光パルス発生手段4は、レンズ系41と、各々同じ長さ（光路長）を有する光ファイバ42a～42fと、コリメートレンズ43a～43fとから構成される。光パルス光源3から出射された光パルスは、レンズ系41によって光ファイバ42a～42fに分割・入射される。光ファイバ42a～42fによって伝達された光パルスは、各々コリメートレンズ43a～43fによ

って収束されて、光パルス遅延手段5に入射される。

【0021】光パルス遅延手段5は、光学媒体50a～50fから構成される。これらの光学媒体50a～50fは、光スイッチ素子1の光スイッチ10a～10fに各々対応して設置されている。光学媒体50a～50fの長さは別個に設定され、その長さは各々 $l_a \sim l_f$ である。このように、互いに異なる長さの特定の屈折率を有する光学媒体を各光スイッチに対して用いることによって、各光スイッチに入射される光パルスに対して各々異なる遅延時間を与えることができる。これらの長さは、例えば一定の周波数でテラヘルツ波を生成するために、適当な基準長 $l$ によって $l_a = l$ 、 $l_b = 2l$ 、 $l_c = 3l$ 、 $l_d = 4l$ 、 $l_e = 5l$ 、 $l_f = 6l$ のように設定される。このとき、光学媒体50a～50fの屈折率を $n$ 、光の速度を $c$ として、隣り合う光スイッチの光路差は $(n-1)l$ 、遅延時間差は $(n-1)l/c$ となる。なお、この長さの設定については、上記のような隣り合う光スイッチに対する遅延時間差がすべて等しいものに限られるものではなく、目的とするテラヘルツ波によって様々な構成とすることが可能である。また、必要があれば、光学媒体50a～50fと、光スイッチ10a～10fとの間に、光パルスの収束または集光のためのレンズ系等を設置しても良い。

【0022】光パルス発生手段4及び光パルス遅延手段5については、図4に示したものに限ることなく、様々な装置・手段が適用可能である。例えば、光パルス遅延手段については各々に別個の光学媒体を設置するのではなく、エシュロン状に一体に加工された光学媒体や、連続的に光路長が変化するくさび型に加工された光学媒体を使用しても良い。また、ファブリペローエタロン等を用いて、反射回数によって異なる遅延時間を与える構成とすることも可能である。ファブリペローエタロンについては、必要があれば2つのガラスを平行でないように設置して用いても良い。なお、いずれの場合も、各々特定の遅延時間を与えられた光パルスに対して、光パルスの収束または集光のためのレンズ系等を設置しても良い。

【0023】また、光パルス発生手段についても、光ファイバを用いず、拡大光学系によって入射光パルスの断面積を拡大した後、レンズまたはミラー等による分割光学系によって各々の光スイッチに対する光パルスに分割・収束して、光ファイバ等を介さずに直接光パルス遅延手段に入射する構成としても良い。また、例えばくさび型の光学媒体を光パルス遅延手段として用いた場合などには、光パルスを分割せずに充分な広さに拡大したのちに光学媒体に入射させ、特定の遅延時間差分布を有する光パルスとして光スイッチアレイに照射しても良い。また、光パルス遅延手段が光パルス発生手段をも兼ねる構成とすることも可能である。

【0024】以下に、本発明によるテラヘルツ波発生装

置による、発生するテラヘルツ波の周波数スペクトル及びその切り換えについて説明する。なお、以下に示すテラヘルツ波の時間波形及び周波数スペクトルは、シミュレーションによる計算結果である。入射する光パルスのパルス幅は50 fs程度の充分に狭い時間幅を想定している。また、テラヘルツ波の時間波形の計算点の間隔は約49 fsとし、入射パルス光の繰り返し周期は50 ps (20 GHz) とした。ただし、時間波形における計算点は、必要な点のみを図示している。

【0025】図5は、図15に示した単一の光スイッチ10による従来のテラヘルツ波発生装置に光パルスを入射したときに得られるテラヘルツ波を示し、(a)はその時間波形、(b)は時間波形を高速フーリエ変換 (FFT) して得られる周波数スペクトルである。このとき得られる図5(a)に示されたテラヘルツ波の時間波形では、発生したテラヘルツ波の半値幅はおよそ98 fsである。このような時間波形による図5(b)に示された周波数スペクトルは、約1.5 THzを中心とする広いスペクトル分布を有している。

【0026】図6は本発明によるテラヘルツ波発生装置10についての第1の実施例を示し、図1に示した1×6アレイでの光スイッチアレイを用いた光スイッチ素子1において、光スイッチ10a及び10bの2つの光スイッチに対して同じ極性の電圧を印加し、2つの光スイッチ間の遅延時間差を約781 fsに設定して光パルスを入射したときに、得られるテラヘルツ波を示している。図6(a)に示す時間波形では、約781 fsの間隔で、2つのテラヘルツ波パルスが発生している。このような時間波形による図6(b)に示す周波数スペクトルは、約1.3 THz付近で強度が最大の広いピークを有し、また、そのほぼ倍の周波数領域でも大きい強度が得られている。

【0027】図7は本発明によるテラヘルツ波発生装置10についての第2の実施例を示し、図6とはほぼ同様の条件であるが、光スイッチ10bに印加される電圧の極性を、光スイッチ10aに印加される電圧の極性に対して反転したときに、得られるテラヘルツ波を示している。このとき、図7(a)に示す時間波形では、2つ目のテラヘルツ波パルスが、印加電圧の極性反転によって反転している。このような時間波形による図7(b)に示す周波数スペクトルは、図6(b)とは反対に、約1.3 THz付近及びそのほぼ倍の周波数で強度が0になっており、その中間の約1.9 THz付近で強度が最大の広いピークを有し、また約0.7 THz付近も大きい強度のピークになっている。すなわち、図6(b)に示した周波数スペクトルに対して、ピークの位置がピークの間隔のほぼ1/2ずれており、強度分布が反転している。このように、光スイッチ10bに与えられる電圧の極性を反転したことによって、得られるテラヘルツ波の周波数スペクトルを切り換えることができる。

【0028】図8は本発明によるテラヘルツ波発生装置10についての第3の実施例を示し、図1に示した1×6アレイでの光スイッチアレイを用いた光スイッチ素子1において、光スイッチ10a～10fの6つの光スイッチに対して同じ極性の電圧を印加し、隣り合う光スイッチ間の遅延時間差を各々約781 fsに設定して光パルスを入射したときに、得られるテラヘルツ波を示している。このときには、図8(b)に示す得られる周波数スペクトルにおける各々のピークの幅が小さくなっており、約1.3 THz、約2.5 THz、及びさらに高い周波数領域に特に強度の大きいピークが得られている。

【0029】図9は本発明によるテラヘルツ波発生装置10についての第4の実施例を示し、図8とはほぼ同様の条件であるが、光スイッチ10b、10d及び10fに印加される電圧の極性を、光スイッチ10a、10c及び10eに印加される電圧の極性に対して反転したときに、得られるテラヘルツ波を示している。この場合も図8(b)に示したものと同様にピークの幅は小さく、約0.7 THz、約1.9 THz、及びさらに高い周波数領域に特に強度の大きいピークが得られている。

【0030】テラヘルツ波の周波数スペクトルは、テラヘルツ波発生10の条件を変更することによって、さらに様々に変えることができる。図10は本発明によるテラヘルツ波発生装置10についての第5の実施例を示し、図6とはほぼ同様の条件によるものであり、図1に示した1×6アレイでの光スイッチアレイを用いた光スイッチ素子1において、光スイッチ10a及び10bの2つの光スイッチに対して同じ極性の電圧を印加しているが、2つの光スイッチ間の遅延時間差を図6における約781 fsから、4倍の約3124 fsに設定して光パルスを入射したときに、得られるテラヘルツ波を示している。図10(a)に示す時間波形では、約3124 fsの間隔で、2つのテラヘルツ波パルスが発生している。このような時間波形による図10(b)に示す周波数スペクトルは、図6(b)に示したものに比べて、各々のピークの幅がほぼ1/4に狭くなっている。

【0031】図11は本発明によるテラヘルツ波発生装置10についての第6の実施例を示し、図10とはほぼ同様の条件であるが、光スイッチ10bに印加される電圧の極性を、光スイッチ10aに印加される電圧の極性に対して反転したときに、得られるテラヘルツ波を示している。すなわち、図7の場合に対して、遅延時間差を4倍の3124 fsに変更した場合に相当する。この場合も図10(b)に示したものと同様に、図7(b)に示したものに比べて、各々のピークの幅がほぼ1/4に狭くなっている。なお、図10及び図11における周波数スペクトルの強度分布の反転については、図6及び図7の場合と同様である。

【0032】また、各光スイッチ10に供給される電圧についても、電圧の極性のみでなく、電圧値をも変更するこ

とによって、さらに様々な周波数スペクトルを有するテラヘルツ波を得ることができる。図12は本発明によるテラヘルツ波発生装置についての第7の実施例として、そのようなテラヘルツ波の一例を示す。ここでは、図3に示す光スイッチ素子1を図4に示すテラヘルツ波発生装置に適用し、光スイッチ10a~10fに供給される電圧値を、各々 $V_a = +1V$ 、 $V_b = +2V$ 、 $V_c = +1V$ 、 $V_d = -1V$ 、 $V_e = -2V$ 、 $V_f = -1V$ に設定し、光スイッチ10a~10fに入射される光パルスに遅延時間を与える光学媒体50a~50fの長さを、各々 $l_a = 1$ 、 $l_b = 21$ 、 $l_c = 31$ 、 $l_d = 51$ 、 $l_e = 61$ 、 $l_f = 71$ に設定した。なおこのとき、光学媒体50a~50fの長さは、隣り合う光スイッチ10a及び10bに入射する光パルスの遅延時間差が約781fsになるように基準長1が設定されている。このように、各光スイッチに設定される電圧の値及び極性、及び入射する光パルスに与えられる遅延時間を変更することによって、目的に応じて様々な周波数スペクトルのテラヘルツ波を発生することが可能である。

【0033】本発明によるテラヘルツ波発生装置によれば、各光スイッチに供給される電圧の極性等を切り換えることによって、例えば強度分布が反転したまったく異なる周波数スペクトルを有するテラヘルツ波を発生することができる。この切り換えは、前述したように、用いるスイッチによって非常に高速に行うことが可能である。本発明によるテラヘルツ波発生装置の応用例として、例えば、このような周波数スペクトル切り換えについての特性を利用することによって、従来とは異なるテラヘルツ波分光器を実現することができる。

【0034】図13に、本発明によるテラヘルツ波発生装置を用いたテラヘルツ波分光器の一実施形態の構成を示す。なお、分光器の基本的な構成については、「光学26巻2号 p.86-92 (1997)」に示されているものとはほぼ同様である。

【0035】光パルス光源であるパルスレーザ3aから出射された光パルスは、反射ミラー31によって反射されて、光パルス発生手段4に入射される。光パルス発生手段4で分割・伝達された光パルスは、光パルス遅延手段5に入射されて各光スイッチに入射する光パルスに対して特定の遅延時間が与えられ、複数の光スイッチからなる光スイッチアレイを有する光スイッチ素子1に入射されて、テラヘルツ波が発生される。光スイッチ素子1の各光スイッチに印加される電圧の値及び極性は、電圧制御装置2によって制御されている。

【0036】発生したテラヘルツ波は、出射レンズ64及び軸外し放物面ミラー65によってサンプル61aが入ったサンプルセル61に入射・通過し、軸外し放物面ミラー66及び受信レンズ67によって、受信用光スイッチ素子6aに収束・照射される。なお、出射系及び受信系は外囲容器62及び63の内部に設置され、外囲容

器62及び63の内部は、テラヘルツ波の伝播中における空気中の水蒸気による吸収を除くために、真空にするかまたは乾燥窒素で満たしてある。また、入射光パルスはハーフミラー33によって分岐され、タイミング調整ミラー34及び可動であるタイミング調整ミラー35によってタイミングを調整された後、反射ミラー32を介して測定のための検出光として、受信用光スイッチ素子6aに入射される。なお、サンプル61aによる吸収のみを測定によって知るため、サンプルセル61を空にしたときのセルのみによる測定を事前に行っておき、そのデータと、サンプル61aを入れたときのデータとの差から、サンプル61aによる吸収を決定する。

【0037】ここで、例として光スイッチ素子1及び電圧制御装置2として図1に示したものをを用い、隣り合う光スイッチ間の遅延時間差を781fsとして、図8または図9に示したテラヘルツ波を発生させた場合について述べる。このとき、光スイッチ10b、10d及び10fに印加される電圧の極性を、光スイッチ10a、10c及び10eに印加される電圧の極性と同じにしたときに、図8に示す1.3THz及び2.5THzにピークを持つテラヘルツ波が、また、極性を反転したときに、図9に示す0.7THz及び1.9THzにピークを持つテラヘルツ波が光スイッチ素子1から出射される。

【0038】受信用光スイッチ素子6aによって受信されたテラヘルツ波は、電流として電流計71によって読み出され、ロックインアンプ72を介して処理装置73に入力される。処理装置73は、入力されたデータを表示・記録するなどの必要な処理を行うものである。光スイッチに与えられる電圧の極性切り換えは、電圧制御装置2によって行われるが、この切り換えについての参照信号は、図13に示すようにロックインアンプ72にも与えられている。これによって、ロックインアンプ72は参照信号に同期して検出を行う。

【0039】このとき、サンプル61aが例えば1.3THzのテラヘルツ波に対して顕著な吸収を示す物質である場合を考えると、このようなサンプル61aは極性を切り換えたときにまったく異なる吸収特性を示す。すなわち、極性を同じにしたときには1.3THzのテラヘルツ波を大きく減衰させるのに対して、極性を反転したときには0.7THz及び1.9THzのテラヘルツ波をあまり減衰させずに透過させる。このように、まったく異なる吸収特性を示す周波数帯についての測定を、装置を変更することなく電圧を切り換えることのみで連続して行い、それらに対する応答を調べることによって、短時間でより確実なサンプルに関する測定を行うことが可能となる。このような分光測定は、本発明によるテラヘルツ波発生装置によってはじめて可能になるものである。

【0040】図14に、本発明によるテラヘルツ波発生装置を用いたテラヘルツ波分光器の他の実施形態の構成を示す。本実施形態においては、テラヘルツ波の受信に



ボロメータ6bを用いていることを特徴としている。ボロメータ6bは熱型の光強度検出器であり、受信したテラヘルツ波をボロメータ6bの温度上昇として検出する。この場合、テラヘルツ波の周波数に関する情報等は得ることができず、受信したテラヘルツ波強度のみが得られる。ボロメータ6bの時間応答は、例えば光スイッチに比べて遅いが、その応答時間に合わせて電圧制御装置2による電圧の極性切り換えを行い、電圧制御装置2からの参照信号をロックインアンプ72に与えることによって、その電圧極性切り換え前後でのボロメータ6bの出力差を効率的に計測することができる。

【0041】なお、図13及び図14に示したテラヘルツ波分光器において、出射レンズ64、軸外し放物面ミラー65、66及び受信レンズ67からなる光学系の構成については、このような構成に限られるものではなく、サンプルセル61の設置方法等の装置構成に応じ、異なる構成としても良い。

【0042】本発明によるテラヘルツ波発生装置の応用は、図13及び図14に示したテラヘルツ波分光器に限ることなく、様々な装置に対して適用が可能である。また、テラヘルツ波の測定方法についても、光スイッチ素子及びボロメータに限られず、目的に応じて様々な測定方法及び装置を用いることができる。例えば、ZnTe結晶などの電気光学結晶の屈折率がテラヘルツ波を照射することによって変化する電気光学効果(EO効果、Electro Optic effect)を利用するEOサンプリング法を用いることが可能である。例えば、テラヘルツ波が入射されている電気光学結晶に読み出し光を入射・透過させ、その出力像をCCDカメラなどによって測定することにより、電気光学結晶の屈折率の変化によって変調された読み出し光によって、電気光学結晶を通過したテラヘルツ波のビームプロファイルを得ることができる。

【0043】

【発明の効果】本発明によるテラヘルツ波は、以上詳細に説明したように、次のような効果を得る。すなわち、光スイッチ素子に設けられた複数の光スイッチに対して印加する電圧の値及び極性を切り換えることができる電圧制御手段を備えることによって、光パルスを照射したときに得られるテラヘルツ波の周波数スペクトルを容易に切り換えることができるテラヘルツ波発生装置を実現できる。また、光スイッチアレイを1次元ではなく複数列からなる2次元アレイに配列することによって、テラヘルツ波の発生・出力位置を狭くして、より点光源に近いテラヘルツ波発生装置とすることができる。

【0044】特に周波数スペクトルの切り換えについて優れた特性を有するこのようなテラヘルツ波発生装置は、例えば確実かつ効率的にサンプルの分析を行うことができるテラヘルツ波分光器など、テラヘルツ波を用いた様々な装置等に应用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る1×6アレイでの光スイッチ素子及び電圧制御装置の一実施形態を示す構成図である。

【図2】本発明に係る2×3アレイでの光スイッチ素子及び電圧制御装置の一実施形態を示す構成図である。

【図3】本発明に係る1×6アレイでの光スイッチ素子及び電圧制御装置の他の実施形態を示す構成図である。

【図4】本発明に係るテラヘルツ波発生装置の一実施形態を示す構成図である。

【図5】従来のテラヘルツ波発生装置によって得られるテラヘルツ波の周波数特性を示すグラフであり、(a)は時間波形、(b)は周波数スペクトルを示す。

【図6】本発明によるテラヘルツ波発生装置の第1の実施例におけるテラヘルツ波の周波数特性を示すグラフである。

【図7】本発明によるテラヘルツ波発生装置の第2の実施例におけるテラヘルツ波の周波数特性を示すグラフである。

【図8】本発明によるテラヘルツ波発生装置の第3の実施例におけるテラヘルツ波の周波数特性を示すグラフである。

【図9】本発明によるテラヘルツ波発生装置の第4の実施例におけるテラヘルツ波の周波数特性を示すグラフである。

【図10】本発明によるテラヘルツ波発生装置の第5の実施例におけるテラヘルツ波の周波数特性を示すグラフである。

【図11】本発明によるテラヘルツ波発生装置の第6の実施例におけるテラヘルツ波の周波数特性を示すグラフである。

【図12】本発明によるテラヘルツ波発生装置の第7の実施例におけるテラヘルツ波の周波数特性を示すグラフである。

【図13】本発明によるテラヘルツ波発生装置を用いたテラヘルツ波分光器の一実施形態を示す構成図である。

【図14】本発明によるテラヘルツ波発生装置を用いたテラヘルツ波分光器の他の実施形態を示す構成図である。

【図15】単一の光スイッチによる従来のテラヘルツ波発生装置の一例を示す構成図である。

【図16】複数の光スイッチによる従来のテラヘルツ波発生装置の一例を示す構成図である。

【符号の説明】

1…光スイッチ素子、10、10a～10f…光スイッチ、11…ギャップ、12…平行伝送線路、12a～12c…伝送線路、15…基板、16…光伝導薄膜、17…出力端

2…電圧制御装置、20、20a～20f…リード線、21、21a～21f…直流電源、22…スイッチ、25…切り換え制御回路、3…光パルス光源、3a…パルススレーザ、31、32…反射ミラー、33…ハーフミラ

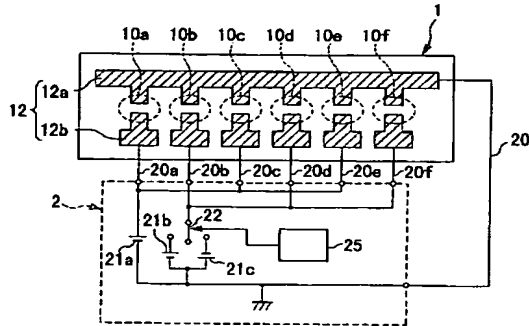
(8)

特開2000-49402

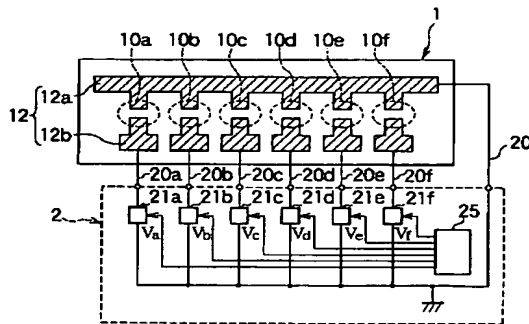
13

一、34、35…タイミング調整ミラー、4…光パルス発生手段、41…レンズ系、42a~42f…光ファイバ、43a~43f…コリメートレンズ、5…光パルス遅延手段、50、50a~50f…光学媒体、6a…受信用光スイッチ素子、6b…ボロメータ、61…サンプ

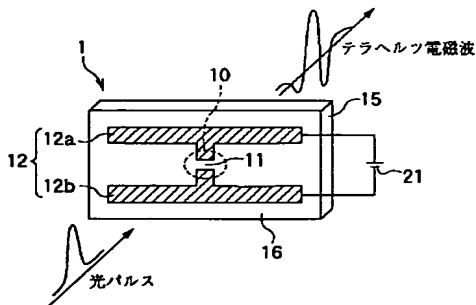
【図1】



【図3】



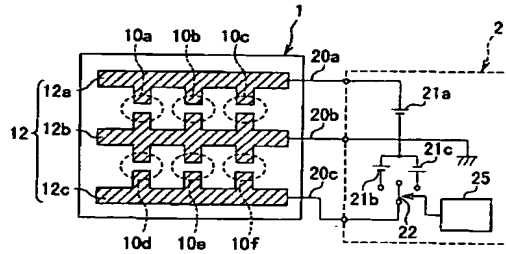
【図15】



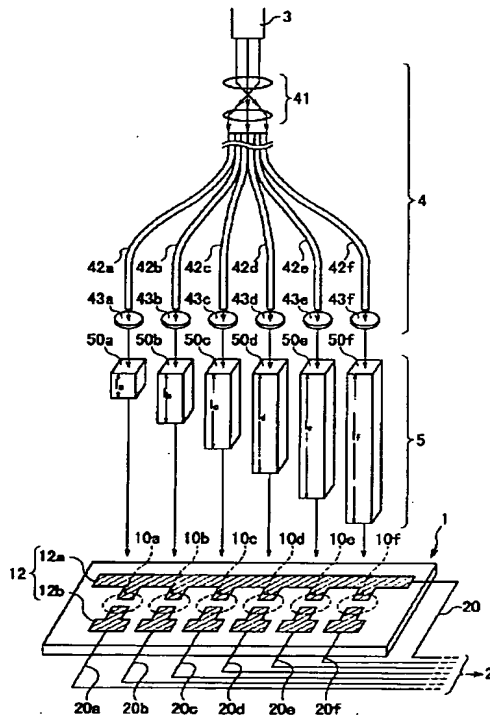
14

\*ルセル、61a…サンプ、62、63…外囲容器、64…出射レンズ、65、66…軸外し放物面ミラー、67…受信レンズ、71…電流計、72…ロックインアンプ、73…処理装置。

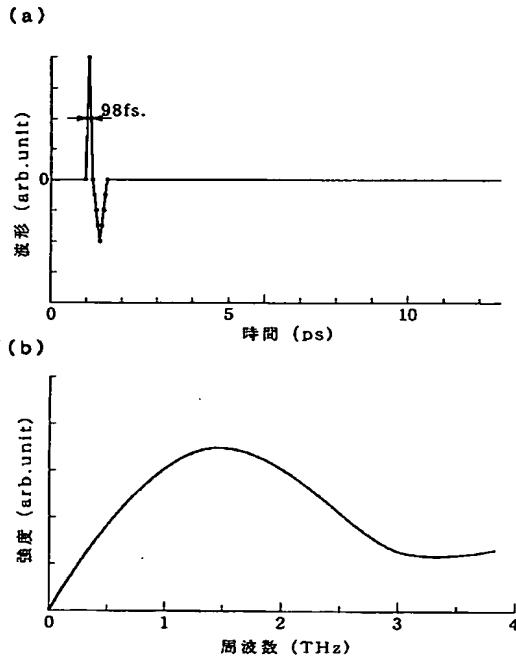
【図2】



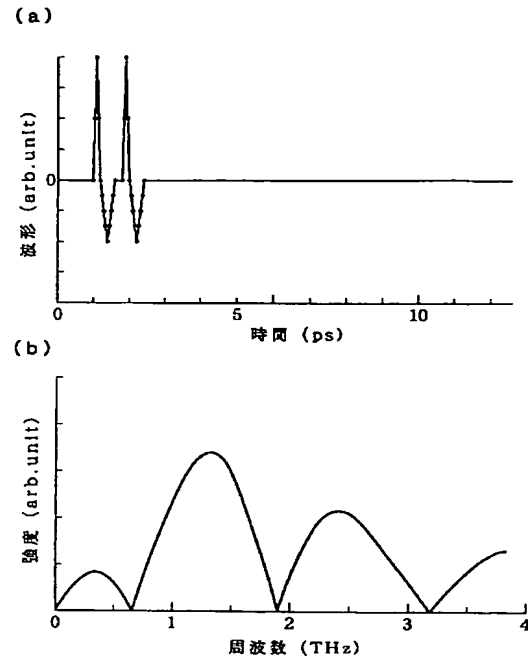
【図4】



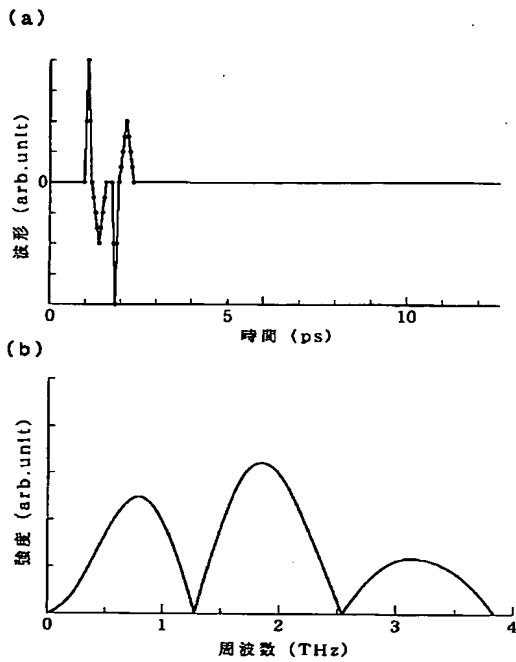
【図5】



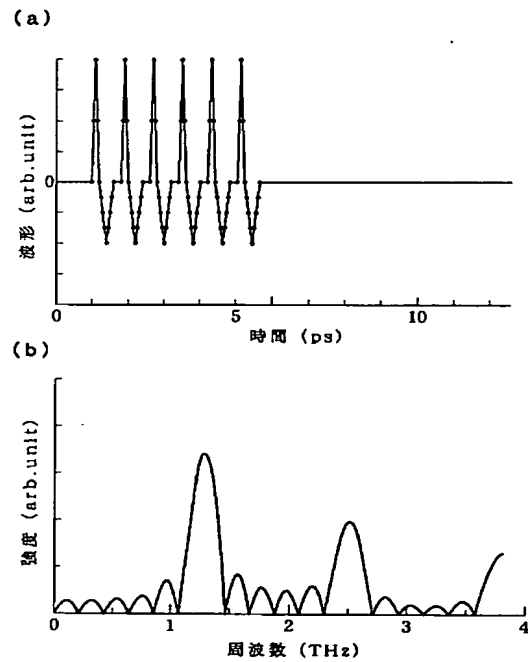
【図6】



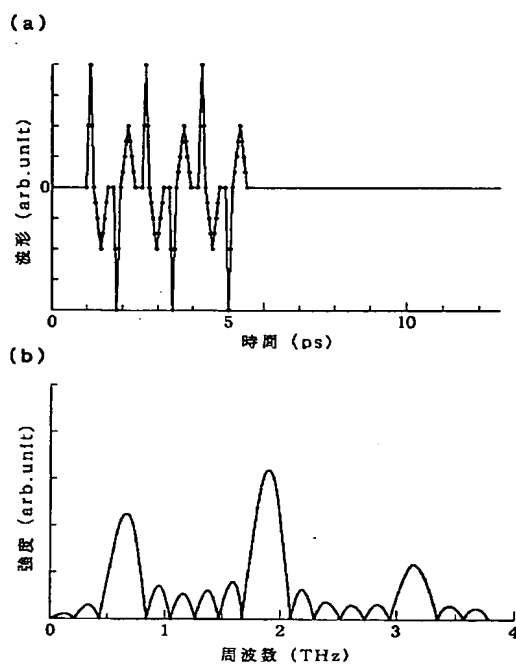
【図7】



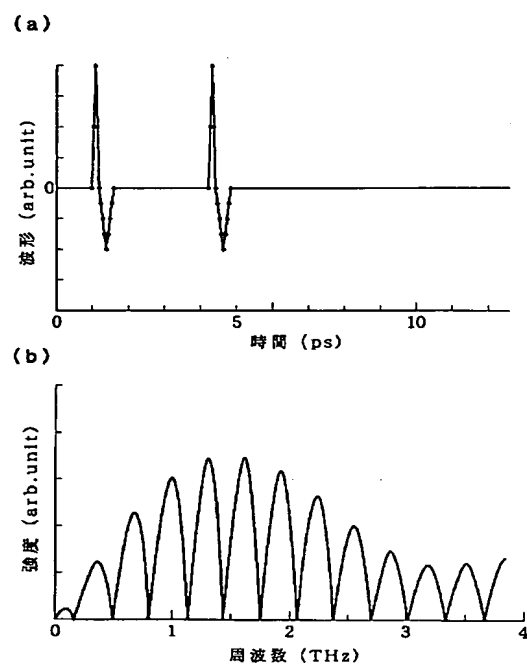
【図8】



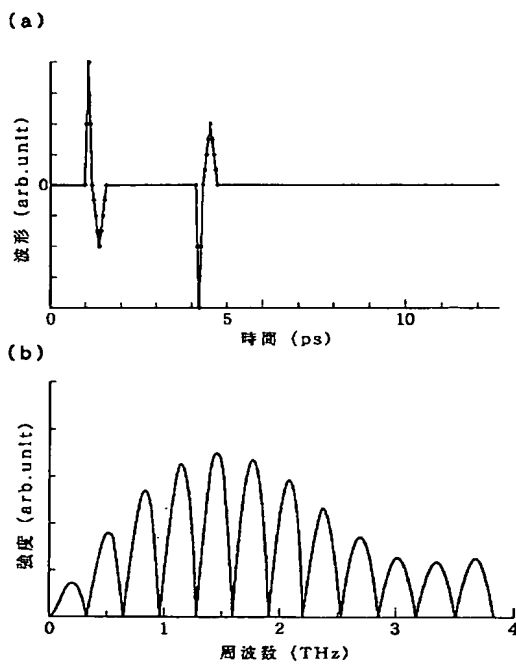
【図9】



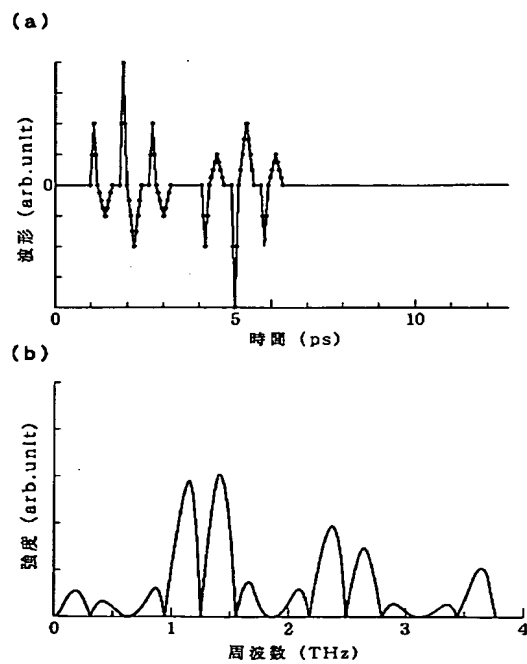
【図10】



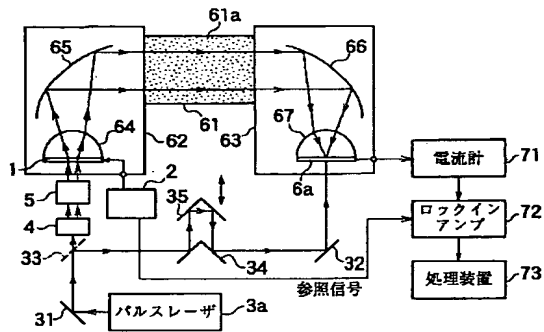
【図11】



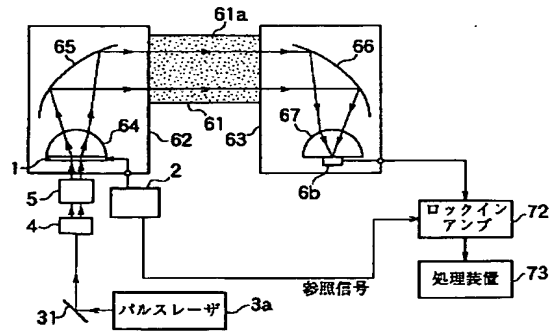
【図12】



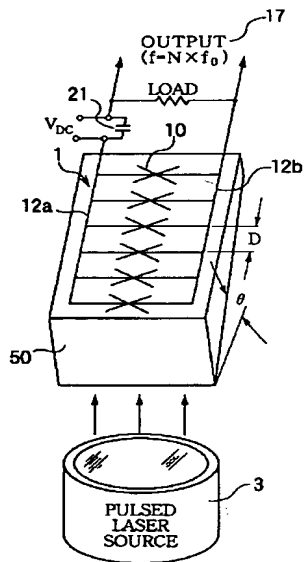
【図13】



【図14】



【図16】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**